

Aus dem Hygiene-Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor: Prof. Dr. med. H. Kliewe)

**Über die Eignung
keramischer Materialien zur Filterung von
Keimen aus der Luft**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der
medizinischen Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von

Joachim Hüter
aus Mettmann im Rheinland
1960

Meinen Eltern in Dankbarkeit

Dekan: Prof. Dr. Dr. Herrmann
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. habil. Carlson
Korreferent: Prof. Dr. Kliewe

Copyright 1958 by Friedrich-Karl Schattauer-Verlag, Stuttgart

Printed in Germany.



INHALTSVERZEICHNIS

I. Literaturübersicht

1. Anwendungsgebiete für Luftfilter
2. Filtermaterial
3. Prozentuale Filterwirksamkeit
4. Variable des Filtrervorganges

A. Veränderliche der Luft

- a) Luftgeschwindigkeit
- b) Luftförderleistung
- c) Luftfeuchtigkeit
- d) Lufttemperatur
- e) Luftelektrizität
- f) Fremdstoffgehalt

B. Veränderliche der in der Luft enthaltenen Partikel und gasförmigen Verbindungen

- a) Partikelkonzentration
- b) Partikelmasse
- c) Partikeldurchmesser
- d) Partikelform
- e) Partikelaggregatzustand
- f) Elektrische Ladung der Partikel
- g) Kinetische Energie der Partikel
- h) Dampfdruck
- i) Viskosität
- k) Oberflächenspannung
- l) Chemische Verbindungen in Gasform

C. Veränderliche des Filters

- a) Größe der Filterfläche
- b) Dicke der Filterfläche
- c) Körnung bzw. Faserdurchmesser des Filters
- d) Porenweite
- e) Spezifische Dichte
- f) Feuchtigkeitsgehalt
- g) Innere Oberfläche (Zahl der Fasern)
- h) Oberflächenaktivität
- i) Elektrostatische Ladung
- k) Adsorptionskräfte
- l) Elastizität
- m) Quellbarkeit
- n) Betriebsdauer



5. Filterungsmechanismus

- A. Siebwirkung
- B. Labyrinthwirkung mit Impingement
- C. Elektrostatische Wirkung

6. Eigenschaften eines Idealfilters

7. Filterkombinationen

8. Keramische Filtermaterialien

9. Keimzahlen in Frei- und Raumluft

10. Das mikrobiologische Aerosol

II. Versuche

1. Methodik der Filterplattenversuche

2. Methodik der Filterzylinderversuche

3. Sterilisation des Filters, der Leitungssysteme und Glasmaterialien mit dem Äthylenoxyd-CO₂-Gemisch

4. Keimnachweisverfahren

5. das geprüfte Filtermaterial

6. Versuchsergebnisse

III. Diskussion

IV. Zusammenfassung

V. Literaturverzeichnis

VI. Lebenslauf

Mit den Fortschritten auf dem Gebiete der Physik und Chemie und ihrer großtechnischen Auswertung wächst die Besorgnis über die mit dieser Entwicklung möglicherweise auftretenden Gefahren für die Gesundheit durch die ständig steigende Konzentration an Industrie-Abgasen, -Rauch, -Staub und -Nebel in der Atmosphäre. Gleichzeitig bringt die Zunahme der Bevölkerungsdichte als Folge der Industrialisierung zwangsläufig auch eine Anreicherung von Mikroorganismen in der Außenwelt mit sich. Entscheidenden Anteil an der Weiterverbreitung dieser Mikroorganismen hat die Luft, welche die an verschiedensten Schwebstoffen haftenden Bakterien, Viren und Pilzsporen weiterträgt. Es gehört zu den Aufgaben des Hygienikers zu beurteilen, inwieweit von dieser Seite her gesundheitsschädliche Einwirkungen erfolgen können. Das heute sehr weitläufige Gebiet der Lufthygiene umfaßt also die Verhütung und Beseitigung von Verunreinigungen sowohl physikalisch-chemischer als auch mikrobieller Herkunft. Während erstere bisher nur durch Filterung (13, 15, 38, 50, 52, 61, 63) und elektrostatische Präzipitation (3, 14, 15, 51) entfernt wurden, stehen zur Luftentkeimung eine Reihe von Verfahren zur Verfügung: Filterung, elektrostatische Präzipitation, UV-Bestrahlung (19, 20, 21, 29, 49, 54, 70), Lufterhitzung sowie Vergasung, Verdampfung und Aerolisierung bakterizider und fungizider Mittel (50, 64, 66, 49). Besonderes Interesse verdienen bestimmte Filtermaßnahmen, die sowohl physikalisch-chemische als auch mikrobielle Verunreinigungen aus der Luft entfernen können. In diesem Zusammenhang wurden vor allem keramische Materialien auf ihre Filtereignung gegenüber in der Luft vorkommenden Mikroorganismen untersucht, worüber im folgenden berichtet wird. Daneben sollen auch die mit dem Filtervorgang zusammenhängenden Probleme, soweit sie bis heute geklärt sind, allgemein behandelt werden.

Welche Institutionen in erster Linie an einer hygienisch einwandfreien Luft interessiert sind, geht aus nachfolgender Tab. 1 hervor, in der die wichtigsten Anwendungsbereiche einer Luftverunreinigung zusammengestellt sind.

T a b. 1 : Anwendungsbereiche für die Zuführung entkeimter und gereinigter Luft

<i>Krankenhäuser</i>	Die Verhinderung von aerogen übertragbaren Infektionen durch Verminderung der hospitalen Luftkeimzahlen in Krankenzimmern, auf Infektionsabteilungen und Frühgeburtenstationen, ferner in Wartezimmern, Operations-, Instrumenten-, Blutkonservierungs- und Polikliniksräumen.
<i>Örtlichkeiten mit Menschenansammlungen</i>	Theater, Kino, Kasernen, Fabriken, Luftschutzräume und Bergwerke.
<i>Wissenschaftliche Institute</i>	In Gewebezuchträumen, mikrobiologischen Arbeitsräumen und Versuchstierställen zur Vermeidung der Cross-Contamination.
<i>Nahrungsmittelindustrie</i>	Fleischereien, Käsereien, Molkereien, Bäckereien und Teigwarenfabriken sowie Mostereien, Brauereien und andere Kellereibetriebe.
<i>Verpackungsindustrie</i>	Nahrungsmittelverpackung, -konservierung und -lagerung.
<i>Pharmazeutische Industrie</i>	Betriebsräume zur Antibiotikaherstellung u. a., Abfüllräume für Medikamente.
<i>Chemische Industrie</i>	Großtechnische mikrobiologische Produktion, wie z. B. bei der Zitronen-, Glukon-, Itakon- und Milchsäureproduktion, ferner Schutz gegen Aerosole jeglicher Art und Abscheidung von Atomspaltprodukten aus der Luft.
<i>Schutz der Außenluft vor Verschmutzung</i>	Die Fernhaltung von Fabrikstaub und -rauch; Abfangen der Motoren- und Kompressorenabgase und -aerosole.
<i>Schutzmaske</i> <i>Air-Conditioning-Anlagen</i>	Entfernung der ABC-Waffen-Luftverunreinigungen.

Für Räume, in denen es zu einer dauernden oder vorübergehenden Menschenansammlung kommt, werden seit langem Verfahren gesucht, die mit der Erneuerung der Raumluft auch gleichzeitig eine Keimminderung bewirken. In diesem Rahmen kommt der *Luftfilterung* eine besondere Bedeutung zu, da dieses Verfahren sowohl bei physikalisch-chemischen als auch bei mikrobiellen Verunreinigungen anwendbar ist. Unter diesem Gesichtspunkt sind bereits viele Filtermethoden auf ihre Brauchbarkeit untersucht worden, aber den meisten haften bestimmte Mängel an. Deshalb soll zunächst ein kurzer Überblick über die bisherige Entwicklung auf diesem Gebiet gegeben werden.

Filtermaterial und Filterwirksamkeit

Sowohl im ausländischen als auch im deutschen Schrifttum sind Filter beschrieben worden, die sich nicht nur in ihrer Materialbeschaffenheit, ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften und ihren Wirkungsmechanismen, sondern auch in ihrer Filterwirksamkeit und Luftförderleistung erheblich unterscheiden. Bezüg-

lich ihres Ausgangsmaterials lassen sich diese Filter in solche anorganischer und organischer Herkunft unterteilen. Eine Aufstellung ist in Tab. 2 wiedergegeben.

Table 2: Verwandte und geprüfte anorganische und organische Filtermaterialien sowie Kombinationen beider

<i>Anorganische Filtermaterialien</i>	<i>Organische Filtermaterialien</i>
Sandschichten	Baumwolle
Kohleschichten	Wolle
Erdschichten	Tierhaare
Poröses Gestein	Filz
Flüssigkeiten	Seide
Salze	Disaccharide
Bergkristallpulver	Filterpapier
Glaswolle	Löschpapier
Glaswatte	Gelatine-Schaum-Filter
Stahlwolle	Kunstfasern verschiedener Art
Schlackenwolle	Gewebe verschiedener Art
Asbest	
Keramische Materialien	
Glaskörnchen	

Die Wirksamkeit der wichtigsten in Tab. 2 aufgeführten Filter ist im folgenden ebenfalls tabellarisch zusammengefaßt.

Da die aufgeführten Ergebnisse aus Untersuchungen mit einer Vielzahl von Variablen hinsichtlich Versuchstechnik, -dauer und physikalischen Luftbedingungen stammen, erlauben sie keine allgemein verbindlichen Aussagen über die Brauchbarkeit dieser Filtermaterialien, selbst wenn in der Mehrzahl die Filterwirksamkeit in der Tab. 3 mit über 95% angegeben ist.

Variable des Filtervorganges

Bei dem Problem der Luftfiltrierung hat man drei Hauptveränderliche zu berücksichtigen, von denen jede allein noch von weiteren Faktoren abhängt. Die drei Hauptveränderlichen sind die Luft, die in der Luft enthaltenen Partikel und das Filter, die beim Filtervorgang ein komplexes physikalisch-chemisches Geschehen darstellen. Will man experimentell diesen komplexen Vorgang untersuchen, so muß man sich vergegenwärtigen, welche Bedeutung hierbei diesen Faktoren sowohl einzeln als auch in Verbindung miteinander zukommt. Die Komplexität eines Filtervorganges veranschaulicht Tab. 4.

Tab. 3: Prozentuale Filterwirksamkeit bzw. kleinste vom Filter erfaßte Partikelgröße in μ mit Angabe der Literaturstelle

Filter mit kleinem Luftwiderstand	Filterwirksamkeit in % bzw. Partikelgröße in μ	Literatur- stelle
Elektrofilter	95—99%	3
Asbestfilterpapiere	bis 0,1 μ	61
Glasfasergeflecht	bis 0,1 μ	61
Lose Wollegemische	bis 0,1 μ	61
Feinfaserfilter	98—99%	63
Glaswolle	98—99%	63
Glasfilter	98—99%	63
Baumwolle	98—99%	63
Miniaturpräzipitator	99,9%	52
Prezipitron	97%	52
Electrostatic	100%	51
Prezipitator	bis 0,2 μ	
Gesponnene Glasfilter	98%	13
Mikrofilter (Merinow-Wolle, Asbest)	bis 0,2 μ	31
Membranfilter	kleiner als 1—4 μ	24
Flüssigkeitssysteme	99,99%	51

Filter mit großem Luftwiderstand	Filterwirksamkeit in % bzw. Partikelgröße in μ	Literatur- stelle
Sand	bis 0,5 μ	3
Kohle	bis 0,5 μ	3
Slag-Wool	99%	63
Baumwolle	gut	38
Kohlefilter	gut	38
Kombination von Elektrostat. Filter mit einem gesponnenen Glasfilter	100%	14

Die in der Tab. 4 aufgeführten Faktoren sollen im folgenden einzeln behandelt werden.

Vergleicht man die Untersuchungen über den Einfluß der *Luftgeschwindigkeit* auf die Filterwirksamkeit, so lassen die Ergebnisse bei Betrachtung der einzelnen Filtermaterialien eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen. Mit steigender Luftgeschwindigkeit nimmt bei Elektrofiltern (3, 6, 51, 52) der Filtereffekt ab. Dies ist bedingt durch die kürzer werdende Verweildauer der Partikel im elektrischen Feld bei gleichzeitiger Zunahme ihrer kinetischen Energie, Faktoren, die der elektrostatischen Präzipitation entgegenwirken. Bei den Faserfiltern (13, 14, 15, 31, 38, 62, 63, 64), keramischen Filtern (3, 38, 59, 64, 65) und Flüssigkeitsfiltern

T a b . 4 : Die Variablen der Luftfiltrierung

A. Veränderliche der Luft

- a) Luftgeschwindigkeit m/h
- b) Luftförderleistung m³/h
- c) Luftfeuchtigkeit % RL
- d) Lufttemperatur ° C
- e) Lufterlektrizität (Ionengehalt und Reibungselektrizität)
- f) Fremdstoffgehalt

B. Veränderliche der in der Luft enthaltenen Partikel und gasförmigen Verbindungen

- a) Partikelkonzentration
- b) Partikelmasse
- c) Partikeldurchmesser
- d) Partikelform
- e) Partikelaggregatzustand
- f) Elektrische Ladung der Partikel
- g) Kinetische Energie der Partikel (Brownsche Molekular-Bewegung)
- h) Dampfdruck
- i) Viskosität
- k) Oberflächenspannung
- l) Chemische Verbindungen in Gasform

C. Veränderliche des Filters

- a) Größe der Filterfläche
- b) Dicke der Filterfläche
- c) Körnung bzw. Faserdurchmesser des Filters
- d) Porenweite
- e) Spezifische Dichte
- f) Feuchtigkeitsgehalt
- g) Innere Oberfläche (Zahl der Fasern)
- h) Oberflächenaktivität (Zahl der aktiven Stellen)
- i) Elektrostatische Ladung
- k) Adsorptionskräfte
- l) Elastizität
- m) Quellbarkeit
- n) Betriebsdauer

vom Typ Liquidimpinger (4, 5, 31, 33, 45) scheinen vor allem zwei physikalische Prinzipien wirksam zu sein, die sich verschieden verhalten. Es handelt sich hierbei um die Diffusion, die sich mit zunehmender Luftgeschwindigkeit verringert, während das Impingement ansteigt. Kompliziert werden diese beiden Mechanismen noch dadurch, daß der Impingement-Effekt überwiegend Partikelgrößen über 2 μ und die Diffusionskräfte solche unter 2 μ aus der Luft im Filter zur Abschei-

dung bringen (62). Die Wirksamkeit der keramischen Filter beruht auf der Diffusions-, die der Faserfilter und Liquidimpinger dagegen auf der Impingementbasis. Eine strenge Trennung in dieser Form läßt sich jedoch nicht vornehmen, da es sich stets nur um ein Prädominieren des einen oder des anderen Filterprinzips sowohl hinsichtlich der Luftgeschwindigkeit als auch der Partikelgröße handelt.

Befaßt man sich mit der Brauchbarkeit von Filtermaterialien, so ist es wünschenswert, eine möglichst große *Luftförderleistung* (m^3/h) bei gleichzeitig guten Filtereigenschaften zu erreichen. Physikalisch ist die Luftförderleistung eine Funktion der Luftgeschwindigkeit (m/h) und der Filterfläche (m^2). Hieraus ergibt sich die Formel zur Bestimmung der Luftförderleistung:

$$\text{m}^3/\text{h} = \text{m}/\text{h} \cdot \text{m}^2$$

Aus dieser Formel ist ersichtlich, daß sich eine große Luftförderleistung entweder durch eine Vergrößerung der Filterfläche oder eine Vergrößerung der Luftgeschwindigkeit erreichen läßt.

In Fällen mit einem hohen materialspezifischen Luftwiderstand bleibt als einziger Weg, um keinen zu großen Energieaufwand in Kauf nehmen zu müssen, die Vergrößerung der Filteroberfläche. Bei einer Vergrößerung der Luftgeschwindigkeit treten die Probleme auf, die im vorhergehenden Abschnitt aufgezeigt wurden.

Von weiterer Bedeutung für die Luftfilterung ist die *Luftfeuchtigkeit*. Nach Literaturangaben (1, 2, 3, 47) wird die Filterleistung durch eine niedrigere relative Luftfeuchtigkeit verbessert.

Der *Lufttemperatur* kommt unter den üblichen Versuchsbedingungen keine meßbare Bedeutung zu, wenn man von der temperaturabhängigen Gesetzmäßigkeit der Brownschen Molekularbewegung absieht.

Bedeutungsvoller sind dagegen die *elektrostatischen Verhältnisse* der abzuscheidenden Partikel, die bei gegensinniger Ladung gegenüber dem Filtermaterial durch Anziehung aus dem Luftstrom entfernt werden (6, 24).

Weitere für den Filtrervorgang ausschlaggebende Faktoren sind korpuskuläre Luftverunreinigungen, die durch ihre zeitlich bedingte Anreicherung im Filter die großen Poren verkleinern und damit die Filterwirkung verbessern, jedoch den Luftwiderstand erhöhen (24, 38). Dieses Phänomen kann sich aber auch in Fällen, in denen die *Partikelkonzentration der Luft* sehr hoch ist, nachteilig auswirken, da die maximale Aufnahmefähigkeit des Filters und damit die *kritische Betriebsdauer* sehr schnell erreicht wird. Dadurch kann es zum sogenannten Reentrainment kommen, bei dem im Filter abgeschiedene und haftende Partikel wieder losgerissen werden, auf der Sterilseite des Filters erscheinen und damit den angestrebten Filtereffekt zunichte machen (2, 38, 61).

Neben den Filtereigenschaften sind *Durchmesser, Masse, Form und Aggregatzustand* der Partikel wesentlich für den Filtrervorgang. Mit dem Anwachsen ihres Durchmessers steigt ihre Abscheidungswahrscheinlichkeit (5, 36, 62, 63). Die gleiche Beobachtung wird gemacht, wenn es zur Konglomeration und Agglomeration zwischen gleichgroßen oder kleineren und größeren Partikeln biologischer sowie natürlicher und industrieller physikalisch-chemischer Herkunft kommt (36, 64). Auf diesem Prinzip der artefiziellen Teilchenvergrößerung durch Anlagerung beruht die Wirkungsweise des Filtrervorganges bei den Dry-Dedustern, den Wet-Dedustern und Moultongeräten mit Pre-Impinger. Es ist daher verständlich, daß sperrige Teilchen gegenüber runden besser abgeschieden werden, während flüssige sich durch ihre Formveränderlichkeit leichter dem Abscheidungsvorgang entziehen.

Eine Verbesserung des Filtrervorganges läßt sich durch eine Erhöhung der *Brownschen Molekularbewegung* (BMB) erreichen, worauf zahlreiche Literaturstellen hinweisen (15, 31, 61, 63). Die Erhöhung der BMB hat sekundär eine stärkere Diffusion und Absorption und somit ein besseres Partikelhaften zur Folge.

Welche Bedeutung der *Dampfdruck* für die Abscheidung gasförmiger Verbindungen hat, ist bis heute unbekannt. Desgleichen liegen Aussagen nicht darüber vor, ob die *Oberflächenspannung* und die *Viskosität* maßgeblich in dieses Geschehen eingreifen.

Neben diesen Veränderlichen der Luft und der Partikel sind ferner die des Filters zu behandeln. Hierbei wäre zu erwähnen, daß mit einer Vergrößerung der *Filterfläche* die Wahrscheinlichkeit eines Partikeldurchtritts wächst. Diese Wahrscheinlichkeit verringert sich jedoch mit zunehmender *Filterdicke* (7, 18, 29, 54). Zwangsläufig ist dies ebenfalls gegeben durch eine feinere *Körnung und Porenweite*, z. B. bei keramischen Filtern (1, 18, 63), und einem feineren *Faserdurchmesser und damit kleineren Porenweite* bei Faserfiltern (6, 64). Diese Verhältnisse veranschaulicht Tab. 5.

Neben den physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeiten, die in ihrem Zusammenwirken für die Undurchlässigkeit eines Luftfilters gegenüber bestimmten Partikelgrößen ausschlaggebend sind, muß unter Umständen noch ein mikrobiologisches Problem berücksichtigt werden. Verunreinigungen der Luft mikrobieller Herkunft, insbesondere Pilzsporen, können sich nämlich nach ihrer Anlagerung im Filtermaterial durch Teilungsvorgänge vermehren, wenn die Filtersubstanzen selbst oder die im Filter festgesetzten Bestandteile ausreichende Nährbedingungen darstellen. Auf diese Weise vermögen Mikroorganismen in kurzer Zeit unkontrollierbar ein Filter in der Filtrerrichtung zu durchwachsen und eine ursprüngliche Luftentkeimung zunichte zu machen (3). Für Filter anorganischen Aufbaues besteht in den meisten Fällen diese Gefahr nicht (64).

Tab. 5: Faserdurchmesser, Porenweite und prozentuale Filterwirksamkeit einiger Filtermaterialien mit Literaturangabe

Filtermaterial	Faser- durchmesser in μ	Porenweite in μ	Filterwirksamkeit in % bzw. bis zu einer Teilchengröße in μ	Literatur- stelle
Asbest	1—2	—	bis 0,1	61
Papierfaser	10—30	—	bis 0,1	61
Slag-Wool	6	—	99	63
Spun Glas	F. 1,25	—	98	13
Glasfaserfilter	0,5—0,75	—	98—99	15 u. 63
Stillite F. (Mittelwert)	2,5—25 2,5—10	—	gut	38
Membranfilter, amerikan.	—	1—4	—	24
Membranfilter, deutsche	—	3—0,005	—	24

Die sich hieran anschließende Frage betrifft den *Vorgang der Partikelabscheidung* auf der äußeren oder inneren *Filteroberfläche*. Er basiert bei den einzelnen Filtermaterialien bzw. -verfahren auf drei in verschiedenem Grad voneinander abhängigen Wirkungsmechanismen. Es sind dies die *Siebwirkung* (6, 20, 62, 63), die *Labyrinthwirkung* mit Impingement (1, 2, 6, 15, 24, 35, 58, 62, 63, 64), zu der noch die Prall- und Kapillarwirkung, sowie die Adsorption, Diffusion und letztlich die *elektrostatische Wirkung* (3, 50, 51, 61) zu zählen sind.

Die Forderungen, die aufgrund des bisher Gesagten an ein optimales Filter zu stellen sind, lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen (3, 6, 14, 58):

1. Hohe Filterwirksamkeit (99—100%, bei einer Partikelgröße bis zu 0,1 μ)
2. Große Luftförderleistung, d. h. geringer Luftwiderstand
3. Keine Abnahme der Luftförderleistung und der Filterwirksamkeit in der Zeiteinheit
4. Leichte Reinigungsfähigkeit und Sterilisierbarkeit
5. Unempfindlichkeit gegenüber chemischen Einflüssen
6. Lange Brauchbarkeit und Regenerierbarkeit
7. Keine Begünstigung des Keimwachstums.

Man hat erfolgreich versucht, die Filterleistung durch Kombination verschiedener Materialien und gleichzeitig durch Zusätze, wie Bakteriostatika und visköse Flüssigkeiten, zu erhöhen. 100%ige Filtrationsergebnisse erreichte man durch ein Großstaubfilter, das Partikelgrößen über 3 μ erfäßt, in Kombination mit einem Kleinstaubfilter, das solche unter 3 μ zur Abscheidung bringt (6).

Nach den bisher in der Literatur beschriebenen Ergebnissen (3, 38, 58, 64, 65) kommen diesen Forderungen Sand-, Kohle-, Aktivkohle-Filter und Filter aus keramischen Materialien am nächsten. Ihr einziger Nachteil besteht in einem hohen Luftwiderstand und damit in einem relativ großen Energieaufwand, um eine große Luftförderleistung zu erzielen. Als besonders günstige Eigenschaften dieser Filter sind ihre lange Betriebsdauer, die für Aktivkohle zum Teil mit 600—1000 h angegeben wird (64), ihre leichte Regenerierbarkeit (58) und ihre gute Sterilisierbarkeit durch bakterizide Gase (38) anzusehen.

Für die Luftfilterung zur Luftentkeimung ist es notwendig, daß man sich zunächst vergegenwärtigt, in welcher Größenordnung man mit Luftkeimen zu rechnen hat. Die wesentlichsten Angaben hierüber sind in der Tab. 6 zusammengestellt.

Daraus ist zu ersehen, daß die Keimzahlen sowohl in der Außen- als auch in der Raumluft erheblichen Schwankungen unterliegen. Für die Außenluft sind meteorologische Faktoren entscheidend (32). In den Sommermonaten überwiegen die Pilzsporen, während im Frühjahr und Herbst die Bakterien im Vordergrund stehen. Neben den jahreszeitlichen rhythmischen Schwankungen lassen sich gleichermaßen Tagesrhythmen beobachten (67, 19, 20, 21). Sämtliche anderen in der Tabelle aufgeführten Keimwerte vermitteln lediglich eine Größenordnung, die von zahlreichen Faktoren, wie der in den Räumen verrichteten Arbeit, der Personenzahl und anderer luftverunreinigender und luftbewegender Einflüsse abhängig ist. Für die Aufwirbelung eines am Boden haftenden Keimes reicht eine Luftgeschwindigkeit von 1—3 m/sec, für die Aufnahme kleiner Partikel von der Oberfläche einer Flüssigkeit sind 4 m/sec notwendig. Tatsache ist, daß die Keimzahl der Außenluft nennenswert kleiner als die der Raumluft ist, wenn man von örtlich bedingten Ausnahmen absieht. Der US-Public Health Service hat deshalb als Ziel der Raumluftfilterung eine Verminderung der Keimzahlen auf Werte gefordert, die stets denen der Außenluft entsprechen.

Die in der Luft enthaltenen Keime liegen in Aerosolform vor. Für das mikrobiologische Aerosol gelten die gleichen physikalisch-chemischen Gesetze, die auch für industrielle Aerosole Gültigkeit haben (36). Bei Aerosolen kann man ein Dispersionsmittel, nämlich den gasförmigen Träger und eine disperse Phase, die aus schwebenden festen oder flüssigen Teilchen besteht, unterscheiden. In einem isodispersen Aerosol finden sich Teilchen gleicher, in einem polydispersen dagegen solche verschiedener Größe. Je nach dem Partikeldurchmesser trennt man ferner in grobdisperse Aerosole (kleiner als 10^{-5} cm), kolloiddisperse (10^{-5} — 10^{-7} cm) und molekulardisperse Aerosole (kleiner als 10^{-7} cm). Die Teilchen eines fein-

Tab. 6 : Keimzahlen in Frei- und Raumluft

Ort der Zählung	Gemessene Keimzahlen (umgerechnet auf m ³)	Autor
Außenluft	26—142	Kruse (40)
Außenluft	1000—3000	Reifferscheidt (zit. bei 32)
Bewohnter Raum	18 000	Moulton (zit. bei 32)
Büroräume	871	Kruse (40)
Schulen	822 im Mittel	Decker (12, 13, 14, 15, 16)
Hörsaal	180—1180	Uhlig (65)
Turnhalle	70 000	Bocchia (zit. bei 65)
Turnen	70 000	Lojander (zit. bei 65)
Krankenhäuser	822 im Mittel	Decker (12, 13, 14, 15, 16)
Kleinkindersaal	etwa 30 000 morgens und etwa 2500 zu den übrigen Tageszeiten	Friederiszick (19, 20, 21) Die Zahlen wurden graphischen Darstellungen entnommen
Frühgeburtenbox	etwa 1000	„
Säuglingsbox	etwa 2500	■
Kinderklinik	3200—11 800	Müller (49)
Operationssäle	Sedimentation von 14—157 Keimen innerhalb 1 Std. auf eine Fläche von 62 cm ²	Kliewe (37a)
Laboratorium	180—1180	Uhlig (65)
Laboratorium	480—1299	Kruse (40)
Laboratorium (beim trockenen Fegen)	38 060	
Stallungen	5 400—17 942	Kruse (40)
Stallungen	22 000—48 000	

dispersen Aerosols haben die Tendenz, bis zu einer Durchschnittsgröße von $2,5 \cdot 10^4$ zu agglomerieren (36). In 1 cm³ eines künstlich erzeugten Keimnebels kann man etwa 10^4 — 10^7 Teilchen erwarten. Die Stabilität dieses künstlichen Keimnebels nimmt mit steigender Relativer Luftfeuchtigkeit ab, und die Absterberate der aerolisierten Keime verläuft mit steigender Temperatur linear zur Zeit (36). Zur vergleichenden Prüfung von Filtermaterialien ist es deshalb notwendig, mit einheitlichen Luftkeimkonzentrationen zu arbeiten. Dies läßt sich unter glei-

chen physikalischen Bedingungen nur durch ein künstlich erzeugtes Keimaerosol erreichen.

Versuche

A. Methodik

1. Methodik der Filterplattenversuche

Zur Erreichung einer gleichmäßigen Luftkeimkonzentration wurde als Testkeim *Staphylococcus albus* mittels einer Roth-Dräger-Drüse vernebelt, die bei einem Arbeitsdruck von 2 atü im Hauptprozentsatz Teilchengrößen von 0,5–10 μ liefert. Es handelt sich hierbei um ein polydisperses Aerosol, dessen Partikel bei absolut ruhiger Luft eine Sedimentation von annähernd 0,01–1,0 cm/sec haben. Die Düse vernebelt, wenn nicht höher visköse Flüssigkeiten vorliegen, 0,2 cm³ der Keimaufschwemmung pro Minute. Zur Verneblung kam eine 24-Stunden-*Staphylococcus-albus*-Bouillonkultur, die mit sterilem Aqua fontana im Verhältnis 1 : 100 verdünnt worden war. Nach einer Verneblungsdauer von 5 Minuten betrug die Keimkonzentration in einem m³ Luft 4 Millionen. Der quantitative Keimnachweis erfolgte mit einem Liquid-Impinger vom Typ des modifizierten Moulton-Gerätes mit Pre-Impinger (4, 5, 31, 33, 45). Die Filterplattenversuche wurden in einem 2 m³ Rauminhalt fassenden, von der Außenwelt abgeschlossenen doppelwandigen Glaswürfel durchgeführt, in den der Keimnebel eingeleitet wurde. Zur besseren Verteilung war an der Decke des Versuchswürfels ein Ventilator angebracht. Die Luftfeuchtigkeit ist vor jedem Versuch eingestellt worden, wobei darauf geachtet wurde, daß sich die Nebeltröpfchen, die zur Erreichung der gewünschten Luftfeuchtigkeit zunächst notwendig waren, vor der anschließenden Keimverneblung aussedimentiert hatten.

Zur Prüfung der Filterplatten* wurden die jeweiligen Filterscheiben in einer trichterförmigen Porzellanapparatur zwischen Gummidichtungen eingespannt. Die infizierte Luft ist mittels einer Rotationspumpe durch die vorgeschaltete Filterplatte abgesaugt und anschließend in einer mit 50 cm³ sterilisierter Aqua fontana gefüllten Waschflasche mit einem Gesamtrauminhalt von 350 cm³ ausgewaschen worden.

Die Luftgeschwindigkeit wurde auf die in der Technik üblichen Größenordnungen von minimal 250 und maximal 500 m/h eingestellt und mittels eines Rotameters, das der Waschflasche im Hauptschluß folgte, berechnet.

Bei konstanter Filterfläche (k) und bekannter Luftgeschwindigkeit (a) ist die das Rotameter pro Zeiteinheit passierende Luftmenge (Luftförderleistung) gleich m³/h.

* Materialbeschreibung unter 6.

Die Formel vereinfacht sich deshalb auf:

$$m^3/h = a \cdot k$$

Die Filtergrundfläche hat eine Größe von 0,006 m², die sich durch das Einspannen in die Apparatur auf eine effektiv filternde Fläche von 0,003 m² reduzierte. Die Messung des Filterwiderstandes erfolgte in mm-Hg-Säule. Hierzu wurde im Nebenschluß der eine Schenkel eines mit Hg gefüllten U-Rohres vor und der andere hinter das Filter geschaltet. Neben der Bestimmung der Keimzahl im Versuchswürfel selbst wurden außerdem zur Kontrolle in jedem Versuchsansatz ohne vorgeschaltetes Filter bei gleicher Luftförderleistung die Keimzahlen mit einem Pre-Impinger-Moulton-Gerät ermittelt, die sonst aus der Luft durch den Filter zur Abscheidung gebracht worden waren.

Die Dauer der Filterplattenversuche betrug 3 Stunden und für besondere Fragestellungen 24 Stunden. Die Sterilitätsbestimmungen der Luft während der 3-Std.-Versuche erfolgten durch den Keimnachweis aus der Waschflüssigkeit. Die erste Waschflasche wurde nach 5 Minuten ausgewechselt, die zweite nach 10 und die folgenden nach jeweils 3 Stunden durch eine neue ersetzt, so daß innerhalb 24 Stunden 8 Probeuntersuchungen hinsichtlich der Sterilität der gefilterten Luft stattfanden. Bei jedem Waschflaschenwechsel erfolgten die erwähnten Kontrollen zur Keimzahlbestimmung des 2 m³ fassenden Luftraumes mit dem modifizierten Moulton-Pre-Impinger-Gerät. Die Keimverluste des 2-m³-Versuchsraumes durch Sedimentation und Absaugen erforderten alle 30 Minuten eine erneute Vorgabe des Keimaerosols, um den ursprünglichen Ausgangswert von 4 Millionen Keimen pro m³ wieder zu erreichen. Die Luftfeuchtigkeit wurde mit einem Hygrometer kontrolliert.

2. Methodik der Filterzylinderversuche

Die Filterzylinder waren in einer von der Schumacher'schen Fabrik, Bietigheim, speziell konstruierten Filterapparatur eingespannt. Der Luftstrom durch dieses Filtergerät erfolgte von der äußeren Filterfläche zu der inneren. Die Größe des äußeren Filtermantels betrug 0,044 m² und die Stärke des Filtermaterials 17,5 mm. Entsprechend den in der Praxis vorherrschenden Bedingungen, wurde die Luft in diesem Fall nicht wie bei den Filterplattenversuchen durchgesaugt, sondern mit Hilfe eines vorgeschalteten Kompressors durchgedrückt. Dies machte zwangsläufig Änderungen des Versuchsaufbaues notwendig. An der Luftentnahmestelle wurde zur Regulierung des Luftdurchganges ein Rotameter vorgespannt. Das durch die Drägerdüse erzeugte Keimaerosol ist direkt in die Schlauchverbindung zwischen Rotameter und dem Filtergerät eingeleitet worden. Die zugeführte Keimkonzentration errechnete sich in diesem Fall aus der vernebelten Keimaufschwemmung und bewegte sich im Mittel etwa in der gleichen Größenordnung

wie bei den Filterplattenversuchen. Die Regulierung der Luftfeuchtigkeit im Schlauchabschnitt zwischen Rotameter und Filter ließ sich dadurch erreichen, daß hier ein entsprechend vorgekühlter Wasserdampf, um keine Keimschädigung auszulösen, in den Luftstrom gelangte. Die Bestimmung des Druckabfalls bei diesem Filtersystem geschah in der gleichen Weise, wie sie für die Plattenfilter beschrieben worden ist. Die zum Keimnachweis verwandten Waschflaschen mußten bei dieser Versuchsanordnung auf Grund der wesentlich größeren Luftförderleistung durch ein großes Waschgefäß, dem zur Sicherheit ein weiteres folgte, ersetzt werden. Ein Auswechseln dieses Waschgefäßes, wie im Fall der Plattenversuche war nicht durchführbar, deshalb wurden nach 0, 30, 60 und 90 Minuten zweimal je $0,5 \text{ cm}^3$ Waschflüssigkeit entnommen und der Keimbestimmung zugeführt. Der Rauminhalt dieser Waschflasche betrug 5000 cm^3 und die darin enthaltene Waschflüssigkeit 300 cm^3 .

3. Sterilisation des Filters, der Leitungssysteme und Glasmaterialien mit Äthylenoxyd- CO_2 -Gemisch

Bei den üblichen Sterilisationsverfahren durch hochgespannten Wasserdampf bei 125°C für 30 Minuten oder in einem Heißluftsterilisator bei 180°C für 120 Minuten tritt in vielen Fällen eine Schädigung des Materials ein. Da auch in diesem Fall bei einem Teil der Filtermaterialien mit einer Versinterung und damit Formänderung gerechnet werden mußte, wurden sie nach dem neuen „Mainzer Sterilisations-Verfahren“ sterilisiert. Es handelt sich hierbei um die Sterilisation mit gespanntem Äthylenoxyd- CO_2 -Gemisch (23, 37, 41, 42). Die Filterplatten und das Schlauchmaterial wurden in einem DMB-Sterivit-Gerät bei einem Arbeitsdruck von 6 kg/cm^2 und einer Temperatur von 45°C dem Gasgemisch für 40 Minuten ausgesetzt. Die Filterzylinder, die in einem druckfesten Filtergehäuse mit Ein- und Auslaßöffnung eingespannt waren, wurden nach kurzer Durchleitung des Äthylenoxyd- CO_2 -Gemisches zur Austreibung der darin enthaltenen Luft an ihrer Ausgangsöffnung verschlossen und dem oben angegebenen Äthylenoxyd- CO_2 -Druck, der entsprechenden Temperatur und Einwirkungszeit ausgesetzt.

4. Keimnachweisverfahren

Für den Nachweis der mit Aqua fontana aus dem Luftstrom der Versuchs- und Kontrollansätze ausgewaschenen Keime wurden zur Einengung der biologischen Fehlerbreite im doppelten und teilweise vierfachen Ansatz jeweils $0,5 \text{ cm}^3$ der Waschflüssigkeit entnommen, auf vorgetrockneten Nähragarplatten ausgespatelt und 24 Std. bei 37°C bebrütet.

Die sich auf der Agaroberfläche entwickelnden Kolonien des Testkeimes wurden unter der Wolff-Hügelschen Zählplatte ermittelt.

5. Die übrigen Variablen der Luftfilterung, wie elektrische Ladung des Aerosols, ihre kinetische Energie, der Dampfdruck, die Viskosität und die Oberflächenspannung wurden nicht bestimmt; sie blieben jedoch in sämtlichen Versuchsanordnungen konstant.

6. Die geprüften Materialien, die von der Schumacherschen Fabrik (Keramische Spezialindustrie), Bietigheim (Wttbg.), hergestellt worden sind, trugen folgende Bezeichnung:

1. Carbo: Kohlenstoff-Filterstein
2. Aerolith: Kieselsäurereiches Silikatgemisch
3. „SC“: Filtersteinerzeugnis auf der Basis von Siliciumcarbid.

Die aus diesen Materialien hergestellten Filterplatten variierten in ihrer Körnung und Filterschichtdicke, so daß die Abhängigkeit der Filterwirksamkeit außer von der Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit zusätzlich von der Körnung und Schichtdicke bestimmt werden konnte.

Die Filterzylinder dagegen variierten bei konstanter Schichtdicke nur in ihrer Körnung. Die Bestimmung der Porenweite, die in etwa durch die Körnung des verwandten Materials bedingt ist, erfolgte nach dem Bechtholdschen Blasendruckverfahren mit Spiritus.

Geprüft wurden folgende Schichtdicken und Körnungen:

Filterplatten	Körnung	Schichtdicke in mm
1. Carbo	10 20	10, 15, 20
2. Aerolith	5 10 20	10, 15, 20
3. „SC“	10 5+10	10, 15, 20
Filterzylinder	Körnung	Schichtdicke in mm
1. Carbo	10 20	17,5
2. Aerolith	5 10 20	17,5
3. „SC“	10 5+10	17,5

Die Filterplatten hatten einen Durchmesser von 90 mm und die Filterzylinder von 70/35 mm bei 200 mm Länge.

B. Versuchsergebnisse

Die Bestimmung der Filterwiderstände in mm-Hg-Säule in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit bei einer konstanten relativen Luftfeuchtigkeit (RL) von 50% und 25° C ergab folgende, in Tab. 7 für Filterplatten und in Tab. 8 für Filterzylinder zusammengestellte Meßwerte.

Tab. 7: Die Abhängigkeit des Filterwiderstandes in mm-Hg-Säule von der Luftgeschwindigkeit (m/h) bei Filterplatten verschiedener Körnung und verschiedener Schichtdicke

Material Körnung Filterstärke		Luftgeschwindigkeit in m/h					
		250	300	350	400	450	500
<i>Carbo:</i>							
10 mm	Körnung 10	62	74	86	98	108	118
15 mm	Körnung 10	84	102	114	130	144	158
20 mm	Körnung 10	90	110	126	144	166	184
10 mm	Körnung 20	6	7	8	9	10	11
15 mm	Körnung 20	6	8	9	10	12	13
20 mm	Körnung 20	10	13	15	16	19	20
<i>Aerolith:</i>							
10 mm	Körnung 5	18	22	26	30	34	37
15 mm	Körnung 5	24	30	34	40	44	48
20 mm	Körnung 5	34	40	46	53	56	62
10 mm	Körnung 10	18	22	26	29	33	36
15 mm	Körnung 10	26	32	37	42	48	52
20 mm	Körnung 10	35	42	48	56	63	69
10 mm	Körnung 20	8	10	12	14	16	18
15 mm	Körnung 20	10	12	14	16	18	20
20 mm	Körnung 20	15	18	21	24	27	30
<i>„SC“:</i>							
10 mm	Körnung 10	14	16	17	18	19	19
15 mm	Körnung 10	21	22	23	24	25	25
20 mm	Körnung 10	26	26	27	28	29	29
10 mm	Körnung 5+10	90	94	99	103	106	108
15 mm	Körnung 5+10	148	166	180	198	213	220
20 mm	Körnung 5+10	200	218	225	243	258	270

T a b. 8 : Die Abhängigkeit des Filterwiderstandes in mm Hg-Säule von der Luftgeschwindigkeit in m/h bei Filterzylindern verschiedener Körnung

Material Körnung		Luftgeschwindigkeit m/h					
		250	300	350	400	450	500
Carbo:	Körnung 10	246	312	376	462	552	642
	Körnung 20	88	124	164	210	276	344
Aerolith:	Körnung 5	202	264	322	394	470	556
	Körnung 10	138	178	224	268	334	380
	Körnung 20	84	114	146	190	236	292
„SC“:	Körnung 10	84	122	166	208	262	318
	Körnung 5+10	436	534	636	740	838	942

Betrachtet man in der Tab. 7 und 8 die Abhängigkeit des Filterwiderstandes von der Luftgeschwindigkeit ohne Berücksichtigung der Materialbeschaffenheit für jeden einzelnen Filter, so läßt sich eine lineare Erhöhung des Widerstandes erkennen. Beim Vergleich der verschiedenen Körnungen innerhalb eines Materials weist zwangsläufig die kleinste Körnung den höchsten Widerstand auf. Er steht jedoch in einer nicht linearen Beziehung zu der nächst größeren Körnung. Stellt man die Widerstände der verschiedenen Materialien gleicher Körnung gegenüber, dann sind auch hier Unterschiede vorhanden. Den höchsten Widerstand besitzt bei Körnung 10 das Carbo-Filter, an zweiter Stelle steht Aerolith, und den geringsten Widerstand besitzt das „SC“-Filter. Die Körnung 20 weist diese Diskrepanz nicht in dem Maße auf. Zur besseren Übersicht sind die Meßwerte dieser materialspezifischen Widerstände in Tab. 9 aufgeführt.

T a b. 9 : Die Abhängigkeit des Filterwiderstandes in mm Hg-Säule von der Luftgeschwindigkeit bei verschiedenen Materialien gleicher Körnung der Filterplatten

Körnung Material	Luftgeschwindigkeit m/h					
Körnung 10	250	300	350	400	450	500
Carbo	246	312	376	462	552	642
Aerolith	138	178	224	268	334	380
„SC“	84	122	166	208	262	318
Körnung 20						
Carbo	88	124	164	210	276	344
Aerolith	84	114	146	190	236	292

Bei einer Kombination zweier Körnungsgrößen, wie es beim „SC“-Filter 5+10 der Fall ist, tritt eine bedeutende Steigerung des Luftwiderstandes ein. Diese Widerstandsabweichung der einzelnen Materialien und besonders der Kombinationskörnung erklärt sich aus den Unterschieden der Porenvolumina.

Tab. 10: Die Porenweitenbestimmungen der verschiedenen Filtermaterialien in μ

Filterdicke	10 mm			
	Porenweite			
	Größte	Weite	Mittelwert	
<i>Carbo-Platten</i>				
Körnung 10	19;	19	15,2;	16,3
Körnung 20	57,0;	59,0	48,0;	48,0
<i>Aerolith-Platten</i>				
Körnung 5	20,7;	21,4	19,0;	19,0
Körnung 10	26,4;	26,5	21,7;	21,7
Körnung 20	43,4;	43,4	38,0;	38,0
<i>„SC“-Platten</i>				
Körnung 10	65,1;	65,1	57,0;	57,0
Körnung 5+10	16,5;	16,5	15,0;	13,3
Filterdicke	15 mm			
<i>Carbo-Platten</i>				
Körnung 10	17,5;	19,0	13,8;	13,8
Körnung 20	53,6;	59,0	45,6;	45,6
<i>Aerolith-Platten</i>				
Körnung 5	21,7;	20,7	18,2;	18,2
Körnung 10	24,3;	24,3	21,2;	21,2
Körnung 20	42,4;	39,6	35,7;	33,7
<i>„SC“-Platten</i>				
Körnung 10	58,8;	58,8	45,6;	45,6
Körnung 5+10	13,3;	13,8	9,0;	9,2
Filterdicke	20 mm			
<i>Carbo-Platten</i>				
Körnung 10	16,8;	16,5	12,8;	12,8
Körnung 20	53,6;	53,6	39,0;	39,0
<i>Aerolith-Platten</i>				
Körnung 5	18,6;	18,6	16,8;	16,8
Körnung 10	23,3;	23,3	17,8;	17,8
Körnung 20	38,0;	35,0	30,4;	30,4

Filterdicke	20 mm			
	Porenweite		Mittelwert	
	Größte	Weite		
<i>„SC“-Platten</i>				
Körnung 10	55,3;	55,3	41,4;	41,4
Körnung 5+10	11,4;	12,5	8,5;	9,2
<i>Carbo-Zylinder</i>				
Körnung 10	21,4;	21,4	16,8;	16,8
Körnung 20	70,1;	70,1	45,6;	45,6
<i>Aerolith-Zylinder</i>				
Körnung 5	18,1;	17,5	13,7;	13,5
Körnung 10	29,4;	23,7	22,0;	21,0
Körnung 20	57,0;	57,0	48,0;	48,0
<i>„SC“-Zylinder</i>				
Körnung 10	15,0;	15,0	12,5;	12,5
Körnung 5+10	55,0;	55,0	39,6;	39,6

Aus den Tab. 7, 8, 9 und 10 ersieht man, daß bei gleicher Körnung die verschiedenen Materialien andere Porenvolumina aufweisen, und daß darüber hinaus noch unterschiedliche Porenvolumina bei gleichem Material, aber verschiedener Schichtdicke vorhanden sind. Dies erklärt die vorhin erwähnten, nicht linearen Beziehungen der Widerstände innerhalb gleicher Körnungsgrößen bei den verschiedenen Materialien und bei den unterschiedlichen Schichtdicken eines gleich groß gekörnten Materials (Tab. 7).

Von weiterem wesentlichem Interesse ist bei der Prüfung von Filtermaterialien, ob sich mit zunehmender RL der Filterwiderstand ändert und somit zur Erhaltung einer konstanten Luftförderleistung eine größere Energieaufwendung erforderlich wird. Zur Prüfung dieser Frage, die ebenfalls für die Brauchbarkeit eines Filtermaterials bedeutungsvoll ist, wurden Widerstandsmessungen bei 100% RL durchgeführt. Von weiterer Wichtigkeit war es, darüber hinaus noch in Untersuchungen zu klären, wie sich der Widerstand des Filtermaterials bei 100% RL und dichtem, nebelförmigem Wasseraerosol verhält.

Diese Versuche ergaben, daß bei 50% innerhalb der gegebenen Versuchszeit keine Änderung des Filterwiderstandes eintritt. Bei einer 100% RL erhöht sich der Widerstand auf einen vom Material und von der Luftgeschwindigkeit abhängigen Maximalwert, der bei Fortdauer der Versuche konstant bleibt, sofern Sekundärverunreinigungen ausgeschlossen werden können. Dieser Maximalwert liegt um so höher, je kleiner die Körnung und damit das Porenvolumen ist. Zwangsläufig wächst auch hierbei der Widerstand mit zunehmender Luft-

geschwindigkeit und zunehmender Stärke der einzelnen Filtermaterialien. Dieselben Beobachtungen lassen sich für sämtliche Filter bei der Verneblung des Wasseraerosols treffen, nur liegen hierbei die Maximalwerte noch höher als bei 100% RL ohne Nebel. Die Maximalwerte sind dann erreicht, wenn die zugeführte Feuchtigkeit der abgeführten entspricht, wobei der Zeitfaktor allerdings von vielen Variablen abhängt. Wiederholungsversuche, wie wir sie durchgeführt haben, werden daher stets in einer gewissen Größenordnung Abweichungen ergeben. Als Variable, die den Zeitfaktor ändern, müssen infolge eines unterschiedlichen spez. Gewichtes eine unterschiedliche Porenzahl pro Flächeneinheit, die Streubreite des Porendurchmessers und die Adsorptionskräfte des Filtermaterials genannt werden. Es ließen sich daher auch keine einfachen Abhängigkeiten bei den Materialien untereinander, ferner bei den einzelnen Schichtdicken jedes einzelnen Materials herausfinden. In den Versuchen, in denen mit aerosolförmigem Nebel gearbeitet wurde, muß man weiterhin in Betracht ziehen, daß die Nebelkonzentration selbst schwankenden Bedingungen unterliegt, wenn sie nicht nephelometrisch eingestellt wird.

Die Filterwirksamkeit wurde gegenüber einem Keimnebel, wie er in der Versuchsmethodik beschrieben wurde, untersucht. Diese Versuche fanden bei einer RL von 50 und 100% und einer Luftgeschwindigkeit von 250 und 500 m/h statt. Entsprechend dem gegebenen Filtermaterial variieren bei den Plattenversuchen die Materialzusammensetzung, die Körnung, die Schichtdicke und bei den Filterzylindern die Materialzusammensetzung und die Körnung. Um die Abhängigkeit der Filterwirksamkeit von diesen Variablen zu erkennen, wurde nur eine der Veränderlichen unter Konstanterhaltung der anderen variiert.

Die Versuche ergaben, daß die Körnung 5 bei Aerolith, die Körnung 10 bei den Materialien Carbo und Aerolith, sowie die Kombinationskörnung 5+10 bei den „SC“-Filtern in den Schichtdicken 10, 15 und 20 mm sowohl bei 250 und 500 m/h Luftgeschwindigkeit als auch bei 50%iger und 100%iger RL für eine Versuchsdauer von drei Stunden eine 100%ige Bakteriendichtigkeit aufweisen. Die Körnung 10 des „SC“-Filters und die Körnung 20 des Carbo-Filters waren bei Variationen der Schichtdicke, der Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit in jedem Fall undicht. Die Filterwirksamkeit bei diesen Materialien bewegt sich im Mittel zwischen 95 und 99%, wobei jedoch prozentual eine geringe Verbesserung mit zunehmender Schichtdicke zu bestehen scheint. Die Körnung 20 der Aerolithplatten war bei 10, 15 und 20 mm Schichtdicke, 500 m/h Luftgeschwindigkeit und 100% RL undicht. Auch hier läßt sich mit zunehmender Stärke eine geringe prozentuale Verbesserung der Filterwirksamkeit beobachten. Bei einer Herabsetzung der RL auf 50% erwies sich das 20 mm starke Material als bakterien dicht. Bei einer Verminderung der Luftgeschwindigkeit auf 250 m/h verbesserte sich das Ergebnis dahin, daß sowohl bei 50 als auch bei 100%iger Luftfeuchtigkeit

nicht nur die 20 mm starken Platten, sondern auch die 15 mm Aerolith-Filter innerhalb der gewählten Versuchsdauer sich gegenüber dem Keimaerosol als undurchlässig erwiesen. Dieses Resultat steht im Einklang mit den in der Literatur beschriebenen Angaben. Bei den anderen Materialien war dies nicht in dem Maße ausgeprägt, jedoch geht auch hier aus den Prozentzahlen hervor, daß eine niedere RL und vor allem niedere Luftgeschwindigkeiten die Filterwirksamkeit verbessern. Die Ergebnisse der Filterzylinder zeigen keine Abweichungen gegenüber den Filterplattenversuchen.

Wie in der Methodik erwähnt worden ist, bestanden bei diesen Untersuchungen einige Abweichungen im Versuchsaufbau. Der Hauptunterschied war, daß die Luft hier nicht durch das Filter gesaugt, sondern zusammen mit dem Bakterienaerosol durch das Filter gedrückt worden war. In den Fällen, in denen die Filter undicht waren, und zwar bei den Carbo- und Aerolith-Filtern der Körnung 20 und bei den „SC“-Filtern der Körnung 10, wurden in den 90 Minuten der Versuchszeit 99% der vorgegebenen Bakterien zurückgehalten.

Das weitere Interesse bei den Filterplatten- und Filterzylinder-Versuchen richtete sich darauf, ob Abweichungen in der prozentualen Filterwirksamkeit in Abhängigkeit von der Zeit eintraten. Es wurde deshalb während der dreistündigen Versuchsdauer nach jeweils 5, 10, 15, 30, 30, 30 und 60 Minuten die prozentuale Filterwirksamkeit gesondert berechnet. Die hierbei erhaltenen Prozentzahlen sind in Tab. 11 für die Extrembedingungen, d. h. 500 m/h Luftgeschwindigkeit und 100% RL aufgeführt. Auf die Wiedergabe der Werte unter den gemäßigten Versuchsbedingungen kann an dieser Stelle verzichtet werden, weil sie Analoges aussagen.

Wie eingangs erwähnt worden ist, kann sich die Filterwirksamkeit mit zunehmender Versuchsdauer durch Verstopfung der Filterporen verbessern. Gleichzeitig läßt sich hierbei unter Umständen ein weiteres Phänomen beobachten, das sogenannte Reentrainment, d. h., daß bereits haftende Partikel vom Luftstrom wieder losgerissen werden und das Filter passieren. Betrachtet man unter diesen Gesichtspunkten die in der Tab. 11 aufgeführten Werte, so sieht man, daß die größten prozentualen Schwankungen bei den 10 mm starken Filtermaterialien auftreten, während sie bei den stärkeren Filterschichten gleichförmiger werden. Eine Verbesserung der Filterwirksamkeit durch die zwangsläufig eintretende Verstopfung der Poren trat innerhalb der Versuchszeit von 3 Stunden nicht in Erscheinung. Ebenfalls gestatten diese Prozentzahlen keine Aussagen über das Reentrainment. Es wurden deshalb die dünnsten bakteriendichten Filterplatten unter ungünstigsten Bedingungen auf ihre Bakteriendichtigkeit im 24-Stundenversuch ausgetestet. Diese Versuchsansätze, die zu ihrer Sicherheit dreimal wiederholt wurden, ergaben, daß die Filterwirksamkeit innerhalb der 24-Stunden-Versuche 100%ig erhalten blieb.

Tab. 11: Die prozentuale Filterwirksamkeit der bakteriendurchlässigen Filterplatten von 10, 15, 20 mm Dicke in Abhängigkeit von der Zeit

Carbo Körnung 20

Filterdicke Minuten	10 mm	15 mm	20 mm
	Filterwirksamkeit in %		
5	99	98	99
10	99	99	100
15	99	99	99
30	96	98	99
30	93	97	98
30	94	98	98
60	99	98	99

Aerolith Körnung 20

5	99	99	99
10	99	99	99
15	99	99	100
30	98	99	100
30	99	99	99
30	99	99	100
60	99	99	99

“SC“ Körnung 10

5	98	96	99
10	97	99	99
15	97	99	99
30	98	95	99
30	97	95	99
30	98	98	99
60	96	97	98

Das gleiche Resultat ist unter leichteren Versuchsbedingungen und bei dickeren Filterplatten zu erwarten. Während der Langversuche zeigte sich, daß die Luftförderleistung, wenn sie nicht ständig nachreguliert wird, aufgrund der zunehmenden Verstopfung der Poren durch das Keimaerosol linear um 60% innerhalb 24 Stunden abfällt. Unter natürlich gegebenen Verhältnissen wird sich diese starke Abnahme des Luftdurchtritts bei unverändertem Energieaufwand nicht in diesem Maße auswirken, da die Keimzahlen der Luft sich bei weitem nicht in der Größenordnung bewegen, wie unter diesen extremen Versuchsbedingungen. Das Phänomen des Reentrainment konnte auch in diesem Versuch nicht verifiziert werden.

C. Diskussion

Die Untersuchungen der neuen keramischen Filtermaterialien haben gute Luftfilterungseigenschaften gegenüber Bakterien ergeben. Die in den Versuchen vor das Filter gegebenen Keimzahlen waren sowohl gegenüber den Werten der Außenluft als auch denen der Laborräume etwa tausendfach größer. Da sich nach Literaturangaben hohe Keimzahlenkonzentrationen ungünstiger auf die Filterwirksamkeit auswirken (2, 38, 61) und weiterhin eine hohe RL (relative Luftfeuchtigkeit) die Filterwirksamkeit ebenfalls verschlechtert (1, 2, 3, 47), können aufgrund der erzielten Ergebnisse den geprüften keramischen Filtermaterialien auch unter natürlichen Bedingungen gute Filtereigenschaften zugesprochen werden. Die durchgeführten Versuche erstreckten sich ausschließlich auf die Filtration von Luftkeimen, deren Größe zwischen 0,7 und 1,2 μ schwankt. Mit kleineren Größenordnungen mikrobieller Luftverunreinigungen, wenn man von den Viren absieht, hat man im allgemeinen nicht zu rechnen, zumal pathogene und apathogene Mikroorganismen fast stets an Trägersubstanzen gebunden sind. Als weitere günstige Eigenschaft der keramischen Filter ist anzusehen, daß sie ein Keimwachstum nicht begünstigen und durch die Stoffwechselprodukte der Keime praktisch nicht angegriffen werden. Vergleicht man sie mit organischen Filtermaterialien, so ist neben ihrer Stabilität ihre leichte Regeneration nach Verunreinigungen zu nennen; außerdem verhalten sie sich gegenüber chemischen Einflüssen in den üblichen Luftkonzentrationen weitgehend inert. Diskutiert man insgesamt die Filtereigenschaften des keramischen Materials, so darf bei Betrachtung der Filterwirksamkeit die Luftförderleistung nicht unberücksichtigt bleiben, weil eine hohe Luftfilterwirksamkeit nur sinnvoll in Kombination mit einer hohen Luftförderleistung ist. In dieser Hinsicht erweisen sich einfache Körnungen des Materials wesentlich günstiger als Kombinationen zweier verschiedener Körnungsgrößen, weil bei ihnen der Filterwiderstand wesentlich wächst und einen nicht erwünschten großen Energieaufwand erfordert. Optimal erwiesen sich in dieser Hinsicht die Aerolith-Filter, weil sie eine gute Filterwirksamkeit mit einem niederen Luftwiderstand kombinieren. Ein weiteres gutes Verhalten der keramischen Filter besteht darin, daß sich ihr Filterwiderstand bei höheren relativen Luftfeuchtigkeiten nicht nennenswert verändert. Man wird daher diese keramischen Filtermaterialien unter allen extremen klimatischen Verhältnissen zur Luftfilterung einsetzen können.

Zusammenfassung

Es wird eine Literaturübersicht über Filterarten und ihre Leistungen gegeben. Keramische Filter werden am brauchbarsten angesehen. Drei neue Filtermaterialien unterschiedlicher Dicke und Körnung „Carbo“, „Aerolith“ und „SC“ wurden

daher auf ihre Filterwirksamkeit gegenüber einem künstlichen Keimaerosol untersucht und gleichfalls ihr Luftwiderstand bei verschiedener Luftgeschwindigkeit und Feuchtigkeit geprüft. Die Filterwirksamkeit verringerte sich mit zunehmender Körnungsgröße und als Folge davon mit vergrößernden Porenvolumina des Materials; ferner verschlechterte sie sich mit zunehmender Luftgeschwindigkeit und relativer Luftfeuchtigkeit. Mit der Schichtdicke des Materials nahm die Filterwirksamkeit zu. Bei einer Versuchszeit von maximal 24 Stunden blieben unter extremen Bedingungen Filter, die in dreistündigen Versuchen bakteriendicht waren, in ihrer Wirksamkeit unverändert. In diesen Langversuchen nahm jedoch die Luftförderleistung nennenswert ab, bedingt durch ein Verstopfen der Poren mit Keimen. Die gute Bakterienfilterwirkung, verbunden mit chemisch inerten Eigenschaften, Unquellbarkeit, leichter Reinigungsmöglichkeit und Regenerierbarkeit lassen besonders das „Aerolithfilter“ als optimales Filtermaterial keramischer Provenienz erscheinen.

Literatur

- (1) Albrecht, J.: Über die Durchlässigkeit von Atemfiltern für Bakterien. Ziv. Luftschutz 17, 208—211 (1953).
- (2) Albrecht, J., und R. Müller: Sand und Erde als Filter für Keimaerosole. Ziv. Luftschutz 18, 262—265 (1954).
- (3) Albrecht, J.: Zur Abscheidung von Mikroorganismen aus der Luft. Arch. Hyg. 139, 109—116 (1955).
- (4) Albrecht, J.: Der Nachweis von Bakterienaerosolen. Aerosolforsch. 4, 297—304 (1955).
- (5) Albrecht, J.: Methoden zum Nachweis von Mikroorganismen. Aerosolforsch. 1, 50—61 (1958).
- (6) Bangert, F.: Probleme der Feinfiltration von Aerosolen. Staub. H. 25 (1951).
- (7) Bourdillon, R. B., O. M. Lidwell and J. C. Thomas: A Slit Sampler for Collecting and Counting Air-Borne Bacteria. J. Hyg. (London) 41, 197—224 (1941).
- (8) Cooper, P. L.: A Method for Producing Plaques in Agar-Suspensions of Animal Cells. Virology 1, 397—401 (1955).
- (9) Coulthard, C. E.: The Microbiological Control of Sterile Pharmaceutical Products. J. Soc. Chem. Indust. 67, 441—444 (1948).
- (10) Coulthard, C. E.: Symposion of the Society of Chemical Industry. Chem. Indust. 805 (1950).
- (11) Dalla Valle, J. M.: The Industrial Environment and Its Control. (New York/London 1948).
- (12) Dalla Valle, J. M., and A. Hollaender: The Effectiveness of Certain Types of Commercial Air-Filters against Bacteria. Pbl. Health Rep. 54, 695—699 (1939).
- (13) Decker, H. M., F. H. Geile, J. B. Harstad and N. H. Gross: Spun Glass Air-Filters for Bacteriological Cabinets, Animal Cages and Shaking Machines Containers. J. Bact. 63, 377—383 (1952).
- (14) Decker, H. M., F. A. Geile, H. E. Moormann and C. A. Glick: Removal of Bacteria and Bacteriophage from the Air by Electrostatic Precipitation and Spun Glass Filters. Heat. Pip. and Air-Condit. ASHVE J. Sec. 23, 9, 125—129 (1951).

- (15) Decker, H. M., J. B. Harstadt, F. J. Piper and M. E. Wilson: Filtration of Microorganisms from the Air by Glass-Fiber Media. *Heat, Pip. and Air-Condit. ASHVE J. Sec. 26*, 5, 155—158 (1954).
- (16) Decker, H. M., and M. E. Wilson: Slit Sampler for Collecting Air-borne Microorganisms. *Appl. Microbiol.* 2, 267—269 (1954).
- (17) Dubuy, N. G., and L. R. Crips: A Sieve Device for Sampling Air-Borne Microorganisms. *Publ. Health Rep.* 59, 829—832 (1944).
- (18) Dulbecco, R., and M. Vogt: Some Problems of Animal Virology as Studied by the Plaque Technique. *Cold Spring Harbor Symposium* 18, 273—279 (1953).
- (19) Friederiszick, F. K.: Über Erfahrungen mit Luftentkeimung in der Kinderklinik. *Strahlentherapie* Bd. 88, H. 3/4 (1952).
- (20) Friederiszick, F. K.: Verhütung von Hautinfektionen durch Ultraviolettbestrahlung *M Schr. Kinderheilk.* Bd. 100, H. 11, 468—472 (1952).
- (21) Friederiszick, F. K.: Neue Erfahrungen mit der UV-Entkeimung in der Kinderheilkunde. *Strahlentherapie* Bd. 95, H. 3 (1954).
- (22) Frobisher, M.: *Fundamentals of Microbiology*. Ch. 42 The Microbiology of Air. Saunders and Co. (Philadelphia/London 1953).
- (23) Gewalt, R., und E. Fischer: Ein neues Gerät zur Sterilisation mit gespanntem Äthylenoxyd. *Münch. med. Wschr.* 101, 563—565 (1959).
- (24) Goetz, A.: Application of Molecular Filter Membranes to the Analyses of Aerosols. *Amer. J. Publ. Health* 43, 150—159 (1953).
- (25) Goetz, A.: Sewage and Industrial Waters. *J. Amer. Water Work Ass.* Vol. 25, 10 (1953).
- (26) Goldberg, I. J., and I. L. Sheckmeister: Evaluation of Factors Related to Slit Sampling of Air-borne Bacteria. *J. Infect. Dis.* 88, 243—247 (1951).
- (27) Gordon, M. A., M. D. Moody and F. M. Boyd: Industrial Air Sampling for Anthrax Bacteria. *Arch. Indust. Hyg.* 10, 16—22 (1954).
- (28) Gordon, B., and I. Bell: Meteorology in Air Pollution Engineering. *Arch. Indust. Hyg.* Vol. 10, Nr. 1 (1954).
- (29) Grün, L.: Die physikalische und chemische Luftdesinfektion. *Zbl. Bakt. I. Orig.* 164, H. 1/5, 307—311 (1955).
- (30) Hahn, M.: Mikrobiologische Untersuchungsmethode für die Luft. *Hdbuch path. Mikroorg.* X, 37, 533—550 (1929).
- (31) Henderson, D. W.: An Apparatus for the Study of Air-bone Infection. *J. Hyg. (London)* 50, 53—68 (1952).
- (32) Heisenberger, K.: Das Verhalten des atmosphärischen Keimaerosols. Untersuchungen im Raume von Mainz in den Jahren 1952—1954. *Med. Inaug. Diss. Mainz* 1956.
- (33) Hollaender, A., and J. M. Dalla Valle: A Simple Device for Sampling Air-borne Bacteria. *Publ. Health Rep.* 54, 574—577 (1939).
- (34) Hösel, G., und H. Steininger: Über quantitative Messung des Luftkeimgehaltes. *Z. ärztl. Fortbild.* 49, 22 (1955).
- (35) Kaster, H. W.: Die Vorteile der Membranfiltermethode in Verbindung mit Nährkartonscheiben, sowie die Anwendung eines transportablen Filtergerätes für bakteriologische Wasseruntersuchungen. *Med. Inaug. Diss. Mainz* (1958).
- (36) Kliewe, H., und E. v. Wasielewski: Physikalische Eigenschaften von keimtötenden Aerosolen und künstlichen Keimnebeln. *Z. Hyg.* 134, 1—23 (1952).
- (37) Kliewe, H., und Th. Lammers: Keimtötende Eigenschaft des Äthylenoxyds. *Prakt. Des.* 5, 51—52 (1956).

- (37a) Kliewe, H., und R. Schneider: Der Keimgehalt der Luft im Operationssaal. Dtsch. med. Rsch. 3, H. 19 (1949).
- (38) Kluyver, R. L., und J. A. Visser: Some Observations on Air Filtration. A. V. Leeuwenhoek J. Microbiol. 16, 311—323 (1950).
- (39) Kuehner, R. L.: The Bacteria and Odor Control Problem in Occupied Spaces. Heat., Pip. and Air-Cond. ASHVE J. Sec. 24, 12, 113—119 (1952).
- (40) Kruse, H.: Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Keimgehaltes der Luft. Gesd. Ing. 69, X (1948).
- (41) Lammers, Th.: Sterilisation und Konservierung mit Äthylenoxyd. Vortrag, Tagung Österr. Gesellsch. Hyg. u. Mikrobiol., Gmunden (1956).
- (42) Lammers, Th., und R. Gewalt: Die Sterilisation mit gespanntem Äthylenoxyd. Z. Hyg. 144, 350—358 (1958).
- (44) Luckiesch, M., A. H. Taylor and L. L. Holladay: Sampling Device for Air-borne Bacteria. J. Bact. 52, 55—65 (1946).
- (45) May, K. R., and H. A. Druett: The Pre-Impinger. Brit. J. Indust. Med. 10, 1422—1515 (1953).
- (46) Mellors, H.: Ultraviolet Irradiation of Air Supplier. Chem. and Indust. 806 (1950).
- (47) Mielenz, W., und G. Stampe: Sandfilter für Luftschutzräume, die ersten Vorbereitungen. Ziv. Luftschutz, Heft 4, 83—84 (1953).
- (48) Mitcheli, R. B., J. D. Fulton and H. V. Ellingson: A Soluble Gelatin Foam Sampler for Air-borne Microorganisms at Surface Levels. Amer. J. Publ. Health 44, 1334—1339 (1954).
- (49) Müller, R.: Raumluftentkeimungsversuche mit Aerosept und Aerosan. Med. Diss. Mainz 1953.
- (50) Munden, D. L.: Industrial and Large Scale Purification of Air-Supplies. Chem. and Indust. 806 (1950).
- (51) Munden, D. L.: Large Scale Filtration and Purification of Air-Supplies. J. Appl. Chem. 2, 65—68 (1952).
- (52) Parker, A., und G. B. Cherry: Removal of Bacteria from Air by Filtration and Its Application to Industrial Fermentations. Chem. and Indust. 806 (1950).
- (53) Phillips, A. W.: The Efficiency of Glass Wool Filters in Removing Bacteria from the Air. J. Bact. 41, 270 (1941).
- (54) Pratje, J.: Raumluftentkeimungsversuche mit UV-Strahlen in der Universitätsklinik Mainz. Med. Diss. Mainz 1952.
- (55) Reifferscheid, H.: Zur Methodik der Keimgehaltsbestimmung der Luft. Ber. Dtsch. Wd. US-Zone Nr. 38, 256—258 (1952).
- (56) Robertson, E. C., and M. E. Doyle: Zit. 7.
- (57) Richards, M.: A Water Soluble Filter for Trapping Air-borne Microorganisms. Nature 176, 559—560 (1950).
- (58) Schumachersche Fabrik: Keramische Spezialindustrie Bietigheim (Wttbg.) „Druckluftfilter“.
- (59) Silvermann, L.: Sampling Instruments for Air Pollution Surveys. Publ. Health Rep. 69, 914—924 (1954).
- (60) Sonkin, L. S.: Application of the Cascade Impacter to Studies of Bacterial Aerosols. Amer. J. Hyg. 51, 319—342 (1950).
- (61) Stafford, E., and W. J. Smith: Dry Fibrous Air Filter Media Indust. and Engin. Chem. 43, 1346 (1951).

- (62) Stairmand, C.: Dust Collection by Impingement and Diffusion. Trans. Inst. Chem. Eng. 28, 130 (1950).
- (63) Sykes, D., and D. V. Carter: Air Filters for Small Scale Aseptic Units. J. Pharm. Pharmacol. 5, 945—953 (1953).
- (64) Terjesen, S. G., and G. B. Cherry: The Removal of Microorganisms from Air by Filtration. Trans. Inst. Chem. Eng. 25, 89—95 (1947).
- (65) Uhlig, W.: Die Bestimmung des Keimgehaltes der Luft Wiss. Z., Humboldt-Univ., mathem.-naturw. Reihe 3, 487—501 (1953/54).
- (66) Wasielewski, E. v.: Grenzen der chemischen Luftdesinfektion. Zbl. Bakter. I. Orig. 164, 314—316 (1955).
- (67) Weed, L. A., and H. Raidt: The Bacterial Contents of the Air of Operating Rooms. J. Bact. 41, 270—271 (1941).
- (68) Webber, H. F. P., L. Taylor and J. Compton: Bacteriological Testing of Compressed Air Supplies. J. Inst. Brew. 58, 51—58 (1952).
- (69) Wells, W. F.: Air-borne Contagion and Air-Hygiene. Harvard University Press, Cambridge/Mass. (1955).
- (70) Williams, R. E. O.: Air Desinfection by Ultraviolet Irradiation and Chemical Vapors. Chem. and Indust. 806 (1950).
- (71) Wright, B. M.: A New Dust Feed Mechanism. J. Sci. Instrum. 27, 12—15 (1950).

Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. K l i e w e für die freundliche Überlassung des Arbeitsplatzes in seinem Institut herzlichst zu danken. Herrn Privatdozent Dr. Carlson möchte ich für seine Themenstellung und seine jederzeit erreichbare Hilfe insbesondere bei der Durchführung der Versuche auf das herzlichste Dank sagen.

L e b e n s l a u f

Am 13. Dezember 1934 wurde ich, Joachim Hüter, als zweiter Sohn des Stadt-
oberinspektors Karl Hüter und seiner Ehefrau Emma, geborene Platzhoff, in
Mettmann/Rheinland geboren. Mein älterer Bruder ist Arzt. Ich bin evangelisch.

Nach vierjähriger Volksschulzeit besuchte ich neun Jahre das neusprachlich-
humanistische Gymnasium Mettmann und bestand dort im März 1955 die Reife-
prüfung. Im Sommersemester des gleichen Jahres begann ich an der Universität
Mainz das Medizinstudium und schloß den vorklinischen Teil nach fünf Semestern
im Sommer 1957 mit dem Physikum ab. Nach klinischem Studium in Düsseldorf,
Kiel und Paris kehrte ich im Sommersemester 1959 an die Johannes Gutenberg-
Universität Mainz zurück, wo ich im Sommer 1960 das Staatsexamen machen will.